



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁSTROJE VYRÁBĚNÉ ZE SLINUTÝCH KARBIDŮ

TOOLS MADE FROM CEMENTED CARBIDE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ladislav OPRŠÁL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan KALIVODA

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ladislav Opršál

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Nástroje vyráběné ze slinutých karbidů

v anglickém jazyce:

Tools Made from Cemented Carbide

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod.
2. Základní rozdělení rezných nástrojů.
3. Slinuté karbidy.
4. Metody povlakování.
5. Příklady nástrojů od světových výrobců.
6. Porovnání parametrů nástrojů.
7. Diskuze.
8. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Přehledná rešerše o sortimentu nástrojů ze slinutých karbidů. Znalost parametrů produktů od světových výrobců.

Seznam odborné literatury:

1. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
2. PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-4283-1.
3. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. 1. vyd. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.
4. Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
5. LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 27.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá řeznými nástroji vyráběnými z povlakovaných i nepovlakovaných slinutých karbidů. V první části práce je uvedeno rozdělení nástrojových materiálů. Další část se zabývá nepovlakovanými slinutými karbidy, jejich značením, výrobou a vlastnostmi. Třetí část je zaměřena na metody depozice povlaků a jejich vlastnosti. Povlaky mohou být vytvářeny dvěma odlišnými metodami, metodou CVD a PVD. Poslední část práce je zaměřena na produkty firem Pramet Tools, Sandvik – Coromant a Seco Tools jejich řezné podmínky a následné porovnání.

Klíčová slova

Slinutý karbid, povlak, substrát, depozice, výrobci.

ABSTRACT

The thesis focuses on cutting tools made of both coated and uncoated cemented carbides. The first part of the thesis deals with the division of materials used for the production of the tools. The second part of the thesis introduces uncoated cemented carbides, special attention being paid to the labelling, production and properties of such compounds. The third part of the thesis presents coating deposition techniques and examines the properties of coating layers. Coating layers are produced using two different methods – CVD and PVD. The last part of the thesis compares the properties of the cutting tools (e.g. their cutting values) produced by the companies Pramet Tools, Sandvik – Coromant and Seco Tools.

Key words

Cemented carbide, coating, substrate, deposition, producers.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

OPRŠÁL, Ladislav. *Nástroje vyráběné ze slinutých karbidů*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 41 s. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Nástroje vyráběné ze slinutých karbidů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Ladislav Opršál

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat rodičům za podporu a umožnění vysokoškolského studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ	10
1.1 Nástrojové oceli (NO)	10
1.2 Slinuté karbidy (SK)	10
1.3 Řezná keramika	11
1.4 Cermety	11
1.5 Polykrystalický kubický nitrid bóru (PKND)	11
1.6 Polykrystalický diamant (PKD)	11
2 SLINUTÉ KARBIDY	12
2.1 Značení.....	12
2.2 Výroba.....	13
2.2.1 Výroba prášků.....	14
2.2.2 Lisování	14
2.2.3 Slinování	14
2.2.4 Konečná úprava	14
2.3 Struktura a vlastnosti.....	15
2.3.1 Vlastnosti SK typu WC-Co, skupina K	16
2.3.2 Vlastnosti SK typu WC-TiC-Co, skupina P	18
2.3.3 Vlastnosti SK typu WC-TiC-TaC.NbC-Co, skupina M	18
3 METODY POVLAKOVÁNÍ	19
3.1 Metoda PVD.....	19
3.1.1 Naprašování	20
3.1.2 Napařování.....	22
3.1.3 Iontová implantace.....	24
3.2 Metoda CVD	25
4 PŘÍKLADY NÁSTROJŮ OD SVĚTOVÝCH VÝROBCŮ	28
4.1 Prament Tools	28
4.2 Sandvik – Coromant.....	29
4.3 Seco Tools.....	29
5 ŘEZNÉ PODMÍNKY NÁSTROJŮ.....	31

5.1	Pramet Tools	31
5.2	Sandvik - Coromant	32
5.3	Seco Tools.....	34
5.4	Porovnání	35
6	DISKUZE	37
	ZÁVĚR	38
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	39
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	41

ÚVOD

Technologie obrábění je obor, který se neustále vyvíjí, proto se také neustále zlepšují jak obráběcí stroje, které jsou přesnější, produktivnější, tak i nástrojové materiály. Technologie obrábění je proces, při kterém dochází k odebírání materiálu ve formě třísky, tím se vytváří nový povrch s požadovaným tvarem, rozměrem v daném stupni přesnosti a jakosti povrchu. K odebírání třísky dochází pomocí řezné části nástroje, která je zhotovena z nástrojového materiálu. U nástrojových materiálů požadujeme dostatečnou tvrdost, pevnost v ohybu a tlaku, houževnatost, efektivnost při třískovém obrábění, dobrou otěruvzdornost a trvanlivost, musí dobře snášet tepelné a dynamické namáhání i při vysokých provozních rychlostech a posuvech.

V dnešní době existuje mnoho nástrojových materiálů. Mezi nástrojové materiály patří: nástrojové oceli, slinuté karbidy, řezná keramika, cermety, polykrystalický kubický nitrid bóru a polykrystalický diamant. Tato bakalářská práce je ale výhradně zaměřena na slinuté karbidy, a proto se následující kapitoly zabývají touto problematikou. A to především jejich značením, výrobou, vlastnostmi a způsoby povlakování.

Slinuté karbidy jsou v dnešní době nejpoužívanějším nástrojovým materiálem pro technologii obrábění. Nejrozšířenější použití slinutých karbidů je ve formě vyměnitelných břitových destiček, které jsou na tělo nástroje připevněny mechanicky (šroubem, úpinkou, kolíkem). Mohou z nich však být vytvořeny i celé nástroje.

V současné době nabízí nástroje ze slinutých karbidů mnoho firem. Tato bakalářská práce se zabývá výrobním sortimentem vytvořeným z nepovlakovaných i povlakovaných slinutých karbidů od firem Pramet Tools, Sandvik – Coromant a Seco Tools.

1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ

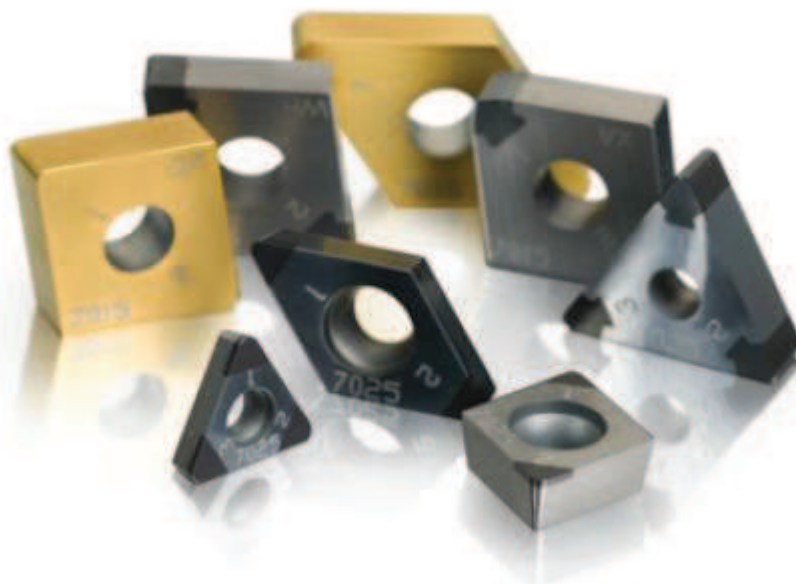
Nástrojové materiály mohou tvořit celý řezný nástroj nebo pouze řeznou část. Mezi nástrojové materiály, které se používají po tvorbu řezných nástrojů patří nástrojové oceli, slinuté karbidy, řezná keramika, cermety, polykrystalický kubický nitrid bóru a polykrystalický diamant.

1.1 Nástrojové oceli (NO)

Nástrojové oceli patří mezi nejstarší materiály, které stále nacházejí řadu uplatnění. NO rozlišujeme na uhlíkové a slitinové. Mezi slitinové patří nízkolegované a vysokolegované (rychlořezné). Rychlořezné oceli mají nejvyšší houževnatost, ale ve srovnání s ostatními materiály je jejich tvrdost poměrně nízká. Proto jsou z nich vyráběny nástroje, určené pro obrábění nízkými řeznými rychlostmi a též tvarově složité nástroje, které nemohou být vyrobeny z ostatních řezných materiálů [1].

1.2 Slinuté karbidy (SK)

Slinuté karbidy jsou nástrojové materiály, které mají velké uplatnění při obrábění kovů. Základním karbidem pro výrobu všech druhů slinutých karbidů pro obrábění (nepovlakovaných i povlakovaných) je karbid wolframu (WC). Jako další složky jsou používány karbidy titanu (TiC), tantalu (TaC), niobu (NbC) a chromu (Cr_3C_2). Jako pojivo se používá kobalt (Co). SK jsou vhodné pro obrábění vysokými posuvovými rychlostmi i pro přerušované řezy. Nejčastěji se používají pro výrobu břitových destiček (viz. obr. 1.1), které se mechanicky upínají do příslušných nástrojů. Pro zvýšení vlastností se břitové destičky povlakuje [2].



Obr. 1.1 Vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu [15].

1.3 Řezná keramika

Řezná keramika je používána pro tvorbu vyměnitelných břitových destiček, které se mechanicky upínají do příslušných nástrojů. Řezná keramika má dobrou odolnost proti náhlým změnám teploty, velmi dobré a stabilní kluzné vlastnosti a dobrou chemickou odolnost. Jejich odolnost proti opotřebení je ale poměrně nízká a rychle se opotřebovávají při obrábění oceli a tvárných litin. Proto je jejich užití omezeno na obrábění šedých litin, někdy se používají i pro obrábění superslitin [3, 4].

1.4 Cermety

Název cermet vznikl složením slov CERamics a METal a má tak vyjadřovat nástrojový materiál. Cermety se vyrábějí práškovou metalurgií, obsahují tvrdé částice (TiC, TiN, TaN) spojené kovovým pojivem (Ni, Mo, Co). Cermety by měli vykazovat výhodnou kombinaci tvrdosti keramiky a houževnatosti kovu. Skutečnost se samozřejmě podstatně liší, protože houževnatost není příliš vysoká. Cermety mohou pracovat při vyšších posuvových rychlostech než řezná keramika a řezných rychlostech na úrovni povlakovaných slinutých karbidů. Tvrdá fáze cermetů při obrábění vytváří plochy s velmi nízkou drsností povrchu, proto se používají hlavně pro dokončovací operace. Často se používají na obrábění korozivzdorných ocelí [3, 4].

1.5 Polykrystalický kubický nitrid bóru (PKND)

Polykrystalický nitrid bóru je druhým nejtvrdějším materiálem vedle diamantu. PKND se používá při obrábění kalených ocelí, legovaných litin a tvrdých návarů. Na obrábění se používají nástroje a vyměnitelné břitové destičky osazené PKBN. Při opracování těmito nástroji je jeho životnost mnohonásobně vyšší než u podobných nástrojů ze slinutého karbidu (SK) či řezné keramiky (ŘK). Tím se sníží neproduktivní čas, potřebný pro výměnu nástroje a zvýší se rozměrová přesnost důsledkem nižšího otěru destičky [5].

1.6 Polykrystalický diamant (PKD)

Polykrystalický diamant je nejtvrdějším ze známých materiálů. Diamanty dělíme zásadně na dvě skupiny - přírodní a syntetické. Přírodní diamanty mají pro obrábění podřadný význam, neboť jsou nejen nesmírně drahé, ale i technologicky méně výhodné než diamanty vyráběné synteticky. Nástroje a vyměnitelné břitové destičky (VBD) osazené PKD se používají pro obrábění neželezných kovů a slitin, jako jsou např. hliník a jeho slitiny, měď, mosaz, bronz, titan a jeho slitiny. Jedná se vesměs o materiály, jejichž teplota tavení leží pod 700 °C a nemají afinitu k uhlíku. Stále více se tyto nástroje nasazují při obrábění keramických a plastických hmot, grafitových hmot, gumy a jiných kompozitních materiálů s abrazivní složkou. Vynikající výkonnost a trvanlivost řezných nástrojů osazených PKD nabízejí možnosti použití zejména ve velkosériové výrobě [5].

2 SLINUTÉ KARBIDY

Slinutý karbid je produktem práškové metalurgie, který se vyrábí z různých druhů karbidů a z kovového pojiva. Mají výhodnou kombinaci vlastností a společně s rychlořeznou ocelí má tento materiál významnou roli při obrábění kovů [9].

2.1 Značení

Současné nepovlakované slinuté karbidy pro řezné aplikace jsou podle normy ČSN ISO 513 rozdělovány v závislosti na užití do šesti skupin (viz obr. 2.1) – P, M, K, N, S a H. Tyto skupiny jsou dále rozděleny do podskupin (např. P10, M15, K01). S rostoucím číslem podskupiny se zvyšuje obsah pojícího kovu, roste houževnatost a pevnost v ohybu, klesá tvrdost a otěruvzdornost, z hlediska doporučených řezných podmínek klesá řezná rychlost, roste rychlost posuvu a průřez odebírané třísky [3].



Obr. 2.1 Skupiny obráběných materiálů [6].

Skupina P: dvojkarbidové slinuté karbidy typu WC+TiC+Co. Skupina je označena modrou barvou a je určena pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku, jako jsou uhlíkové oceli, slitinové oceli a feritické oceli. Řezný proces je obvykle doprovázen velkými řeznými silami a značným opotřebením na čele, proto SK obsahuje velké množství TiC a TaC, které zlepšují odolnost proti vymílání na čele nástroje. Přísada TiC zaručuje vysokou odolnost proti difuzi za vysokých teplot, která je jednou z hlavních příčin vytváření výmolu na čele nástroje v místě styku s odcházející třískou [3].

Skupina M: vícekarbidové SK typu WC+TiC+TaC.NbC+Co. Skupina je označena žlutou barvou a je určena pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou a střední třísku, jako jsou lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli a tvárné litiny. Mají vysokou houževnatost, proto je používají pro těžké hrubovací a přerušované řezy. Řezné síly dosahují středních a vysokých hodnot, dochází k vydrolování ostří [3].

Skupina K: jednodokarbidové SK typu WC+Co. Skupina je označena červenou barvou a je určena pro obrábění materiálů, které vytvářejí krátkou, drobnou třísku, zejména pro šedé litiny, nezelezné slitiny a nekovové materiály. Řezné síly jsou přitom obvykle relativně nízké a převládá abrazní a adhezní opotřebení [3].

Skupina N: označena zelenou barvou. Skupina je určena pro obrábění nezelezných kovů, jako například hliník, měď nebo mosaz, ale také se používá pro obrábění dřeva. Obecně je u břitových destiček s ostrými břity možné předpokládat použití vysokých řezných rychlostí a dlouhou životnost nástroje [6].

Skupina S: označena hnědou barvou. Skupina je určena pro obrábění žárovzdorných superslitin zahrnujících celou řadu vysokolegovaných ocelí a materiály na bázi niklu, kobaltu, a titanu. Tyto materiály snadno ulpívají na břitů a tvoří nárůstek [6].

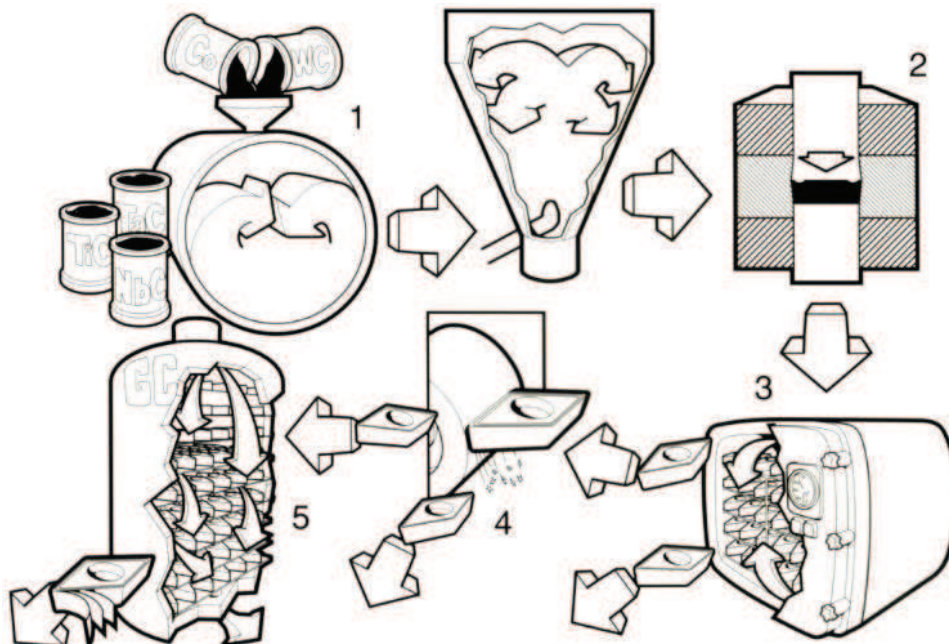
Skupina H: označena šedou barvou. Skupina je určena pro obrábění ocelí o tvrdosti mezi 45 – 65 HRC a také tvrzené litiny v rozmezí 400 – 600 HB. Jejich tvrdost činí všechny tyto materiály obtížně obrobitelnými. Při jejich obrábění vzniká velké množství tepla a na břit působí velice abrazivně [6].

2.2 Výroba

Typická metoda pro výrobu slinutých karbidů se nazývá prášková metalurgie, která se zabývá přípravou prášků různých karbidů a pojících kovů, jejich smísením, lisováním směsi a slinováním výlisků při teplotě blízké bodu tavení pojiva (viz obr. 2.2). Tato technologie se převážně používá k výrobě předmětů s takovými fyzikálními a technologickými vlastnostmi, které není možné získat klasickými výrobními způsoby. Tím vzniká materiál, který má tvrdost blízká tvrdosti výchozích karbidů a který má poměrně vysokou pevnost. Struktura SK by měla být homogenní a reprodukovatelná [3, 7].

Postup výroby slinutých karbidů [7]:

- příprava prášku,
- lisování a tvarování polotovaru,
- slinování,
- konečná úprava (broušení, povlakování).



Obr. 2.2 Postup výroby slinutých karbidů (1 – mokré mletí prášků, 2 – lisování, 3 – slinování, 4 – úprava tvaru, 5 – povlakování) [1].

2.2.1 Výroba prášků

Základní surovinou práškové metalurgie jsou prášky kovů, jejich sloučenin a někdy i nekovů (např. grafit). Prášky lze získat dvěma základními způsoby:

- mechanicky - drcením v kulových a vířivých mlýnech nebo rozprašováním tekutého kovu,
- fyzikálně-chemicky - redukcí oxidů, štěpením karbonylů, elektrolytickým vylučováním a chemickým slučováním s nekovy (např. WC, TiC, TaC).

Velmi významnou částí procesu výroby slinutých karbidů je příprava směsi karbidů s pojícím kovem, protože tento proces výrazně ovlivňuje vlastnosti výsledného produktu. Nejpoužívanějším karbidem pro výrobu slinutých karbidů je karbid wolframu. Některé slinuté karbidy vyžadují použití dalších karbidů. Podle druhu vyráběného slinutého karbidu se mísí jednotlivé karbidy a pojivo v určitém množství, které jsou mlety na malé částčky. Cílem je vytvoření homogenní, jemnozrné práškové směsi karbidů a pojícího kovu mletím za sucha nebo v kapalném prostředí, po kterém musí následovat vysušení směsi. Po ukončení procesu musí být karbidická zrna rovnoměrně rozptýlena a obalena v jemnějším prášku pojícího kovu. K práškům se často přidávají pomocné látky zlepšující lisovatelnost (plastifikátory, maziva), které dále zmenšují tření mezi směsí a formou, což snižuje její opotřebení a možnost zadření. Maziva je nutno odstranit před spékáním, protože nesmí zabráňovat tvorbě a růstu kovových spojů [3, 8].

2.2.2 Lisování

Směs prášků lze formovat lisováním, nejčastěji ve formách na lisech, další způsoby jsou izostatické lisování za studena, hydrostatické lisování, vytlačování přes trysku požadovaného tvaru nebo litím či vstřikováním do pomocných forem. Lisování se provádí na jednočinných nebo dvojčinných lisech při použití lisovacích forem. Lisovací tlaky se pohybují v rozmezí 50 až 150 MPa. Lisováním získá polotovar požadovaný tvar, nikoli však rozměry, které má mít po slinování. Porezita výlisku je totiž cca 50 objemových procent. Při slinování se tato porezita odstraní a rozměry výlisku se zmenší o 17 až 20 procent [3, 9].

2.2.3 Slinování

V průběhu slinování je vylisované těleso umístěno ve slinovací peci, kde je ohříváno a následně ochlazováno za řízených podmínek. Celý proces slinování lze rozdělit na dvě části – předslinování (ve kterém dojde ke změně tvaru k odstranění plastifikátorů a maziv při teplotách 700 až 850 °C) a slinování, které probíhá při teplotách 1400 až 1600 °C. Při této teplotě se roztaví kovové pojivo a v něm se rozpustí značná část množství karbidů. Během tohoto procesu se póry uzavřou a zrnka prášku se spojí hlavně vlivem difuze. Slinováním se zvětšuje soudržnost, dosahuje požadované mikrostruktury, mechanických, fyzikálních a chemických vlastností. Konečná kontrola je zaměřena na rozměr, porezitu, strukturu, velikost zrna, hustotu, tvrdost a výkon obrábění [3, 9].

2.2.4 Konečná úprava

Podle uvažované oblasti použití může břitová destička získat svoji konečnou podobu broušením. Vyměnitelné břitové destičky pro frézování mají vysoké požadavky na rovinnost ploch a také vyžadují speciálně nabroušenou fasetku na břitu. U břitových destiček pro soustružení je tvar utvářeče a fasetky vytvořen již při lisování [9].

2.3 Struktura a vlastnosti

Dobré funkční vlastnosti slinutých karbidů jsou dány obsahem tvrdých karbidických částic, jejich velikost se pohybuje v rozmezí 1 až 10 μm a jejich množství tvoří 80 až 95 % celkového objemu. Struktura se může výrazně lišit, aby byly splněny různorodé podmínky pro obrábění. Hlavní rozdíly u slinutých karbidů používaných pro výrobu vyměnitelných břitových destiček jsou [9]:

- typ a velikost tvrdých částic,
- druh kovového pojiva a jeho podíl,
- výrobní technologie,
- kvalita výroby.

Obsahem pojícího kovu (kobaltu) jsou značně ovlivňovány fyzikální a mechanické vlastnosti slinutých karbidů, bez ohledu na jejich typ. Pokud obsah kobaltu roste [3]:

- klesá měrná hmotnost,
- klesá tvrdost,
- klesá relativní odolnost proti abrazi,
- klesá modul pružnosti v tahu a ve smyku,
- klesá tepelná vodivost,
- klesá intenzita elektromagnetického pole,
- klesá pevnost v tlaku,
- roste pevnost v tahu,
- roste Poissonovo číslo,
- roste pevnost v ohybu,
- roste vrubová houževnatost,
- roste koeficient délkové roztažnosti,
- mírně roste únavová pevnost.

U slinutých karbidů vzniká porušení při namáhání tahem nebo ohybem s téměř nezatelnou plastickou deformací, což je řadí mezi křehké materiály. Toto zařazení není však opodstatněné, protože při působení pouze normálových tlakových napětí mohou slinuté karbidy vydržet bez porušení i značné plastické deformace. Slinuté karbidy s velkými zrny tvrdých částic mají velkou houževnatost, zatímco SK s malými zrny mají relativně velkou tvrdost. SK s nízkým obsahem kobaltu mají dobrou tvrdost a pevnost, naopak SK s velkým obsahem kobaltu mají dobrou houževnatost. Přestože tvrdost a pevnost v tlaku s vyšší teplotou klesají, slinutý karbid si zachovává dobrou odolnost proti opotřebení i při vysokých řezných rychlostech [3, 9].

Při porovnání s ocelí je SK podstatně tvrdší a má vyšší pevnost v tlaku, je ovšem citlivější na namáhání tahem. Modul pružnosti je u SK až třikrát vyšší než u oceli (z tohoto důvodu je SK mimořádně vhodný pro výrobu vrtacích tyčí s dlouhým vyložení). Také součinitel tepelné roztažnosti SK je poloviční než u oceli a to stěžuje pájení SK na tělesa nástrojů vyrobená z oceli. Slinutý karbid má velmi širokou oblast použití pro obrábění většiny materiálů a to jak SK nepovlakované tak SK povlakované [9].

2.3.1 Vlastnosti SK typu WC-Co, skupina K

Vlastnosti tohoto typu SK závisí na konečném složení a struktuře. Už i malé odchylky od ideálního obsahu uhlíku způsobují tvorbu grafitu nebo ternární sloučeniny. Obě tyto fáze jsou nežádoucí a způsobují degradaci mechanických vlastností a řezného výkonu. Tyto SK se vyznačují velmi dobrou odolností proti otěru a širokým využitím při obrábění, běžně obsahují 3 až 25 objemových procent kobaltu a rozměr zrna karbidů wolframu je 0,5 až 5,0 μm . Složení a vlastnosti těchto slinutých karbidů jsou uvedeny v tabulce 2.1 [3, 7].

Tab. 2.1 Složení a vlastnosti slinutých karbidů WC-Co [3].

Složení [hm. %]		Měrná hmotnost [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	Tvrdost		Pevnost v ohybu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]	Modul pružnosti v tahu [GPa] ¹⁾	Měrná tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
WC	Co		[HRA]	[HV]				
100	-	15,7	92÷92	1800÷2000	300÷500	3000	722	122
97	3	15,1÷15,2	90÷93	1600÷1700	1000÷1200	5900	670	88
95,5	4,5	15,0÷15,1	90÷92	1550÷1650	1200÷1400	5800	640	84
94÷94,5 ₁₎	5,5÷6	14,8÷15,0	90÷91	1500÷1600	1600÷1800	5000	620	80
94÷94,5 ₂₎	5,5÷6	14,8÷15,0	91÷92	1600÷1700	1400÷1600	5500	630 ²⁾	80
91	9	14,5÷14,7	89÷91	1400÷1500	1500÷1900	4800	590	75
90	10	14,3÷14,5	88,5÷90,5	1350÷1450	1550÷1950	4700	585	71
89	11	14,0÷14,3	88÷90	1300÷1400	1600÷2000	4600	580	67
87	13	14,0÷14,2	87÷89	1250÷1350	1700÷2100	4500	560	59
85	15	13,8÷14,0	86÷88	1150÷1250	1800÷2200	3900	540	-
80	20	13,1÷13,3	83÷86	1050÷1150	2000÷2600 ³⁾	3400	500	-
75	25	12,8÷13,0	82÷84	900÷1000	2000÷2800 ³⁾	3200	470	-
70	30	12,3÷12,5	80÷82	850÷950	1800÷3000 ³⁾	3000	440	-
-	100	8,7	-	125÷250	700÷1200		180	71

Pozn.: 1) hrubozrnná fáze WC, 2÷4 μm ; 2) jemnozrnná fáze WC, 0,5÷2 μm ; 3) výrazně závisí na velikosti zrna a změnách v obsahu uhlíku

• Fyzikální vlastnosti

Měrná hmotnost tohoto druhu SK je poměrně vysoká a je dána vysokou měrnou hmotností wolframu, s narůstajícím obsahem kobaltu klesá. Měrnou hmotnost rovněž snižují strukturní složky a nežádoucí přísady.

Tepelná vodivost je jen málo závislá na obsahu kobaltu. Tepelná vodivost klesá s narůstající teplotou, materiály s hrubším zrnem vykazují vyšší hodnotu. Nižší tepelná vodivost má však příznivý vliv na tepelné zatížení nástroje, protože vznikající teplo je ve větší míře odváděno obrobkem [3].

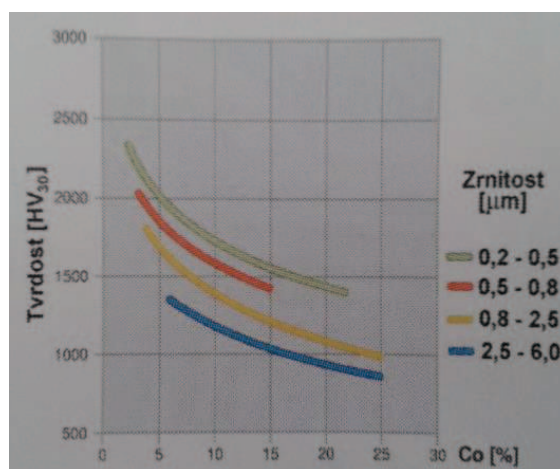
Součinitel délkové roztažnosti závisí na obsahu kobaltu, při nárůstu obsahu kobaltu se jeho hodnota může zvětšit až téměř dvakrát.

Se změnou obsahu kobaltu se mění hodnota měrného odporu, tato změna není však nijak velká.

Magnetické vlastnosti slinutých karbidů jsou podmíněny přítomností feromagnetické složky (kobaltu). Další magnetická vlastnost, koerzivní síla, je dána stavem napjatosti kobaltové fáze, když jsou jemnější jednotlivé oblasti pojiva, jsou tenčí jeho vrstvy – koerzivní síla roste [3].

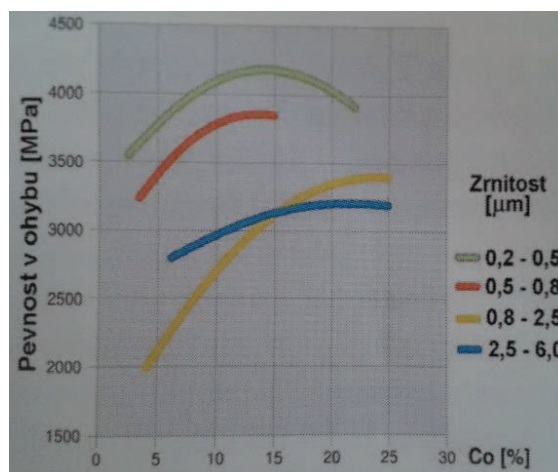
- **Mechanické vlastnosti**

Tvrдость slinutých karbidů typu WC-Co závisí zejména na obsahu kobaltu a na velikosti zrna karbidické fáze, nejvyšší tvrдость mají materiály, které mají jemnozrnou strukturu a nízký obsah kobaltu (viz obr. 2.3). S narůstající teplotou však tvrдость tohoto typu SK poměrně rychle klesá, přesto ale stále zůstává v oblasti pracovních teplot řezného nástroje mnohem vyšší, než je tvrдость rychlořezných ocelí [2].



Obr. 2.3 Závislost tvrlosti na obsahu Co a velikosti zrn WC [3].

Pevnost v ohybu u tohoto typu karbidu roste s rostoucím obsahem kobaltu a po dosažení maximální hodnoty, závislé na velikosti zrn WC, s dalším růstem obsahu klesá (viz obr. 2.4). Podobně jako tvrдость, i pevnost v ohybu výrazně klesá s rostoucí teplotou [2].

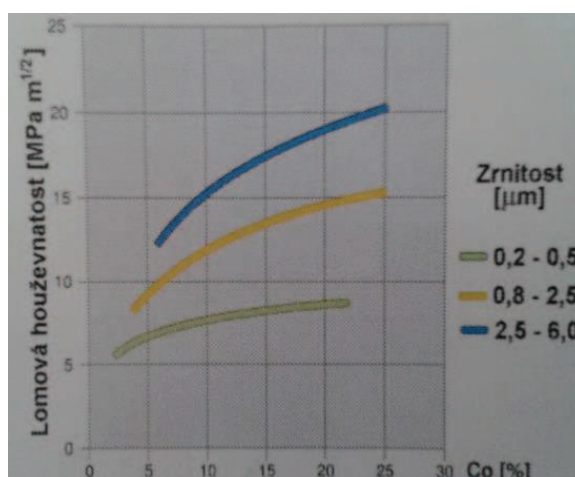


Obr. 2.4 Závislost pevnosti v ohybu na obsahu Co a velikosti zrn WC [3].

Pevnost v tlaku je u SK tohoto typu mnohem vyšší než u jiných technických materiálů. Hodnota závisí na obsahu pojiva a na velikosti zrna karbidické tvrdé fáze. Podobně jako ostatní mechanické vlastnosti, i tlaková pevnost klesá s narůstající teplotou [3].

Slinuté karbidy WC-Co mají obvykle vysoký modul pružnosti a tahu, jeho hodnota klesá s rostoucím obsahem kobaltu a také s rostoucí teplotou. Vyšší hodnoty vykazují materiály s jemnozrnou strukturou [2].

Lomová houževnatost u těchto SK roste s narůstajícím obsahem kobaltu, zvětšující se střední délkou volné trajektorie a s rostoucí velikostí zrn WC (viz obr. 2.5). Až do teplot 500 až 700 °C je lomová houževnatost konstantní, po překročení této teploty prudce narůstá. Lomová houževnatost je kritická hodnota součinitele intenzity napětí v okamžiku nestabilního šíření trhliny a je mírou odolnosti tělesa s trhlinou proti křehkému porušení [3].



Obr. 2.5 Závislost lomové houževnatosti na obsahu Co a velikosti zrn WC [3].

2.3.2 Vlastnosti SK typu WC-TiC-Co, skupina P

Základní vlastnosti slinutých karbidů typu WC-TiC-Co závisí hlavně na obsahu TiC. U fyzikálních vlastností s rostoucím obsahem TiC klesá měrná hmotnost a je mnohem nižší než u SK typu WC-Co, také klesá tepelná vodivost, hodnota měrného odporu a roste délková roztažnost.

U mechanických vlastností s rostoucím obsahem TiC roste tvrdost, která je u SK typu WC-TiC-Co vyšší než u SK typu WC-Co, klesá pevnost v ohybu, pevnost v tlaku a modul pružnosti v tahu. Šíření trhlin na rozdíl u SK typu WC-Co nastává v karbidické fázi. Tento fakt, spolu s vyšším stupněm dotyku sousedících zrn, vysvětluje nižší houževnatost těchto materiálů [3].

2.3.3 Vlastnosti SK typu WC-TiC-TaC.NbC-Co, skupina M

U tohoto typu slinutých karbidů dochází s rostoucím obsahem TaC.NbC k poklesu pevnosti v ohybu, na tvrdost změna obsahu TaC.NbC nemá významný vliv. Pevnost v tlaku a modul pružnosti v tahu klesají při rostoucím obsahu pojící fáze (kobaltu) [3].

3 METODY POVLAKOVÁNÍ

Povlaky výrazně ovlivňují proces obrábění. Pečlivou volbou vhodného povlaku břitů nástroje v závislosti na obrábění lze dosáhnout těchto výhod [3, 9]:

- prodloužení životnosti,
- nižší řezné síly,
- vyšší řezné rychlosti a rychlosti posuvu,
- lepší jakosti povrchu,
- lepší obrábění nasucho,
- lepší obrábění tvrdých materiálů.

Mezi nejdůležitější materiály pro povlakování patří karbid titanu (TiC), nitrid titanu (TiN), oxid hlinitý (Al_2O_3) a karbonitrid titanu (TiCN). Metody povlakování lze rozdělit do dvou základních skupin [3, 9]:

- metoda PVD (Physical Vapour Deposition – fyzikální napařování), která se provádí za teplot menších než $500\text{ }^\circ\text{C}$ a tloušťka nanesené vrstvy činí 1 až $5\text{ }\mu\text{m}$. Tato metoda byla původně vyvinuta pro povlakování nástrojů z rychlořezné oceli, díky nízké teplotě nedochází k tepelnému ovlivnění nástroje. V současné době se metoda PVD velmi rychle rozvíjí a nachází stále větší uplatnění také u slinutých karbidů.
- metoda CVD (Chemical Vapour Deposition – chemické napařování z plynné fáze), která se provádí za vysokých teplot ($1\,000 \div 1\,200\text{ }^\circ\text{C}$). Tato metoda je hlavní metoda pro povlakování SK a můžeme ji realizovat ve čtyřech variantách: tepelně indukovaná, plazmaticky aktivovaná, elektronově indukovaná a fotonově indukovaná.

3.1 Metoda PVD

Metodou PVD jsou povlaky tvořeny za sníženého tlaku ($0,1 \div 1,0\text{ Pa}$) a při teplotě do $500\text{ }^\circ\text{C}$. K povlakování dochází kondenzací částic (atomů, případně shluků atomů), které jsou uvolňovány ze zdroje částic (terčů). Takto vytvořené povlaky mají obecně tloušťku 1 až $5\text{ }\mu\text{m}$. Povlak je nejčastěji vytvářen třemi způsoby, první způsob je napařování, kde dochází k uvolňování částic z terče působením urychlených iontů Ar. Druhý způsob je napařování, kde k uvolňování částic dochází vlivem působení nízkonapětového oblouku, indukci, laseru nebo elektronového paprsku. Uvolněné částice jsou ionizovány, reagují s atmosférou komory, kterou tvoří inertní a reaktivní plyn. Po dopadu na povrch substrátu tvoří tenkou homogenní vrstvu. Třetím způsobem je iontová implantace, kde jsou ionizované částice urychlovány elektrickým polem směrem k povrchu substrátu, kde dochází k jejich implantaci [3, 9].

Metoda PVD je ekologicky nejšetrnější metodou depozice vrstev, neboť zde není použito žádných nebezpečných materiálů a při procesu depozice se neuvolňují žádné toxické látky. Dalšími výhodami metody PVD jsou vysoká odolnost vrstev, nízký koeficient tření, možnost vytvořit velké množství druhů vrstev, malá a snadno reprodukovatelná tloušťka vrstev, možnost tvorby přesných tloušťek vrstev [10].

Nevýhodou všech metod PVD je relativně složitý vakuový systém a nutnost pohybovat povlakovanými předměty, aby bylo zaručeno rovnoměrné ukládání povlaku po celém jejich povrchu, tento požadavek souvisí s tzv. stínovým efektem, který u dané metody způsobuje, že se na plochách, které neleží ve směru pohybu odpařovaných částic, povlak vůbec nevytvoří nebo je vzniklý povlak velmi nekvalitní [3].

3.1.1 Naprašování

Proces obvykle probíhá ve vakuu nebo při nízkém tlaku plynu (do 0,7 Pa), kdy se odprášené částice dostanou na povrch substrátu bez kolize s molekulami plynu, v prostoru mezi zdrojem a substrátem. V některých případech se používá i vyšší tlak (0,7 ÷ 2,0 Pa), předtím než se odprášené nebo odražené částice terče dostanou na povrch substrátu, jsou ohřívány srážkami s částicemi plynu [2].

Naprašováním lze vytvářet tenké povlaky z těžkovitelných materiálů bez nutnosti ohřevu terče na vysokou teplotu. Naprašovací zařízení je skládá z katody (terče) vyrobené z materiálu, který má být nanášen, držáku substrátu, odprašovacího plynu, vakuové komory, čerpacího systému a zdroje energie.

Při klasickém naprašování je terč z vodivého materiálu umístěn ve vakuové komoře a na něj je přiveden vysoký záporný potenciál řádově tisíce voltů. Do vakuové komory se přes jehlový ventil připouští pracovní plyn (obvykle Ar) o nízkém tlaku. Před terčem se zapálí doutnavý výboj, přičemž kladné ionty jsou urychlovány elektrickým polem a bombardují záporně nabitý terč a záporně nabitě částice (elektrony) dopadají na uzemněnou kostru komory. Těžké ionty svým dopadem rozprašují terč a rozprášené atomy se usazují na vnitřních površích. Substráty se proto umísťují před terč, tenká vrstva tedy vzniká především na nich. Pro zajištění lepší homogenity vrstvy se mohou substráty pohybovat. Je ale třeba rozlišovat elektricky vodivé a nevodivé materiály, u nevodivých terčů se na povrchu vytváří elektrický náboj, který zabraňuje dalšímu bombardování. Tomuto jevu se dá zabránit použitím střídavého proudu. Při naprašovacím procesu dochází k erozivnímu úbytku terče. Jeho rychlost lze určit podle vzorce (3.1) [3, 11].

Vztah rychlosti eroze terče [3]:

$$R = 62,3 \cdot \frac{J \cdot S \cdot m_t}{\rho} [\text{\AA} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.1)$$

kde:	$J [\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}]$	proudová hustota iontů,
	$S [\text{atomy/iont}]$	výtěžnost naprašování,
	$m_t [\text{g}]$	atomová hmotnost,
	$\rho [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$	měrná hmotnost materiálu terče.

Naprašování doutnavým výbojem rovinné diody je nejjednodušší naprašovací proces. Tento systém se skládá z katody (terče) a anody, kde je upevněn substrát, katoda a anoda jsou umístěny proti sobě ve vzdálenosti 50 až 100 mm. Terč je zdrojem povlakovacího materiálu a zároveň také zdrojem sekundárních elektronů, které udržují doutnavý výboj.

Rychlost depozice závisí na vzdálenosti mezi terčem a substrátem, materiálu terče a na tlaku pracovního plynu, který nesmí být příliš vysoký, jinak plyn rozptýluje atomy a intenzita naprašování klesá. Rychlost depozice lze také zvyšovat použitím vyšší hustoty výkonu na povrchu terče. Musí být ale zajištěno účinné chlazení terče. To bývá zaručeno vodní chladicí soustavou.

Tato metoda je velmi často využívána z důvodů své jednoduchosti a snadnosti výroby terče ze široké škály materiálů. Má však několik nedostatků, mezi které patří nízká depozice, ohřev substrátu v důsledku bombardování částicemi s vysokou energií a relativně malé povlakované plochy [3].

Magnetronové naprašování (viz obr. 3.1) je zdokonalená technologie klasického naprašování. Metoda je založena na rozprašování pevného terče, který je zapojen jako katoda magnetronového výboje. Atmosféra je obvykle tvořena argonem, který je nezbytný pro udržení výboje. Je-li spolu s pracovním plynem přiváděna do vakuové komory reaktivní příměs, např. kyslík, dusík, je možné vytvářet oxidy a nitridy rozprašovaného materiálu. V tom případě se jedná o reaktivní magnetronové naprašování.

Samotný systém pro magnetronové naprašování se skládá z vakuové komory, která je naplněna vakuem. Před terčem je vytvořeno magnetické pole určitého tvaru elektromagnetem nebo permanentními magnety. Takovému zařízení říkáme magnetron. Elektron, který při klasickém naprašování uniká z prostoru před terčem, jsou v tomto případě zachycovány v tzv. tunelu siločar magnetického pole o intenzitě několik set gaussů a unášeny podél tunelu, čím se zvýší jejich dráha, zvýší počet srážek a vytvoří husté plazma. Kladné elektrickým polem urychlené ionty dopadají z plazmatu na terč a odprašují jeho částice, ty procházejí plazmatem směrem k substrátu, na kterém vytvářejí tenký povlak. Tato metoda se provádí při nižším tlaku (řádově desetiny pascalu) i při nižším napětí (řádově stovky voltů). Zejména nižší tlak se pozitivně projevuje ve větší čistotě vytvářených vrstev.

U rozprašování nevodivých terčů na povrchu postupně vzniká elektrický náboj, který zabraňuje dalšímu bombardování. Použije-li se střídavý vysokofrekvenční signál, který je schopen rychle vybíjet hromadící se elektrické náboje, lze rozprašovat i tyto nevodivé materiály (např. různé keramiky) [3, 10, 11, 12].

Katoda může existovat v různých provedeních. Pokud jsou magnety vytvářející magnetické pole umístěny podél stěny a do osy průřezu a síla vnějších a vnitřních magnetů je přibližně stejná, jedná se o vyvážený magnetron. Takovýto magnetron udržuje elektrony i plazmu v nejbližším okolí terče. Vyvážený magnetron byl vyvinut pro aplikace, kde je potřeba se vyhnout bombardování rostoucího povrchu částicemi s vysokou energií.

U nevyváženého magnetronu je síla vnějších magnetů větší než síla vnitřních magnetů. Nevyvážený magnetron umožňuje seřízení sekundární plazmy tak, aby se plazma mohla rozšířit po povrchu substrátu a zajistit tak požadované iontové bombardování [3].

Výhodou magnetronového naprašování je možnost naprašovat libovolný materiál, včetně slitin a nevodivců, je jednoduchá i depozice těžkovitých materiálů, umožňuje rovnoměrně potahovat i větší plochy. Vytvořené povlaky neobsahují makročástice, snadno lze nanášet i povlaky tvořené více vrstvami [3, 11, 12].

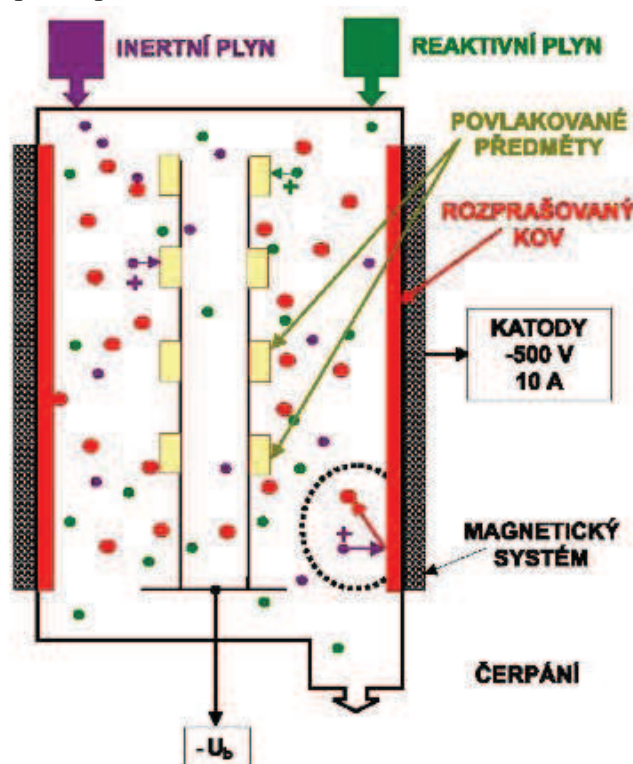
Výhody naprašování [3]:

- je možno odprašovat a ukládat prvky, slitiny a chemické sloučeniny,
- odprašovaný terč je stabilním zdrojem par a má vysokou životnost,
- v některých uspořádáních může mít terč různé tvary (deska, prut, válec),
- v některých uspořádáních může být reaktivní depozice snadno zdokonalena použitím reaktivních materiálů, které se aktivují v plazmě,
- velmi nízké zatížení tepelnou radiací,
- terč a substrát mohou být umístěny blízko sebe,
- depoziční komora může mít malý objem.

Nevýhody naprašování [3]:

- intenzita naprašování je ve srovnání s intenzitou tepelného odpařování nízká,

- v mnoha případech je distribuční tok depozice nerovnoměrný, pro vytvoření povlaku s rovnoměrnou tloušťkou je nutné pohybovat substrátem,
- terče jsou drahé, využití materiálu špatné,
- většina energie, která dopadá na terč se mění na teplo, které se musí odvádět,
- v některých případech je v plazmě aktivována plynová kontaminace, která znečišťuje povlak,
- u reaktivního naprašování je nutné přesné řízení složení plyné atmosféry, aby nedošlo k znečištění terče,
- velké vnitřní napětí v povlaku.



Obr. 3.1 Schéma magnetronového naprašování [1].

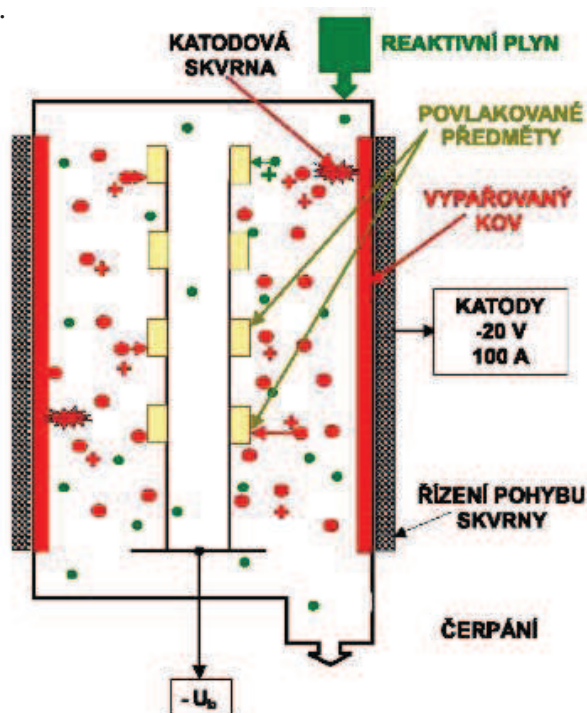
3.1.2 Napařování

Napařování je způsob povlakování kde dochází k odpařování materiálu terče a kondenzaci par na substrát. Napařování probíhá ve vakuu, při tlaku 10^{-3} až 10^{-8} Pa. Odpařované atomy se před kondenzací na substrát pohybují po několika dráhách, což vede k vytváření nerovnoměrného povlaku. Kvůli tomuto jevu je do komory přiváděn odpovídající plyn (např. argon) pod tlakem 0,7 až 26,7 Pa. Odpařené složky při transportu na substrát prodělají více srážek, což vede k vytvoření povlaku s rovnoměrnou tloušťkou. K přeměně hmoty terče na plyn se nejčastěji používá obloukové odpařování, dále se používá elektronový paprsek, laser, odporový a indukční ohřev [3].

Obloukové odpařování (viz obr. 3.2) využívá katodické obloukové systémy, ty mohou být dvojího druhu, pulzní, u kterého je oblouk opakovaně zapalován a zhašen pomocí kondenzátoru, a kontinuální. Výhodou pulzního systému je, že se terč mezi jednotlivými cykly nachází v chladném stavu, nevýhodou je pokles rychlosti povlakování. Výhodou kontinuálního systému je jednoduchost systému a vynikající využití celého terče, nevýhodou je vznik makročastic, které znečišťují povlak [3].

U této metody je terč odpařován nízkonapěťovým elektrickým obloukem, který hoří mezi anodou (vakuová komora) a katodou (terč). Zatímco na anodě hoří oblouk po celé její ploše, na katodě hoří pouze bodově v místech katodové skvrny. Katodová skvrna má průměr řádově 10 μm a dosahuje teploty okolo 15 000 $^{\circ}\text{C}$, což prakticky zajistí odpaření každého elektricky vodivého materiálu. Materiál terče je obloukem odpařován a zároveň i ionizován (atomy se mění z elektricky neutrálních na atomy s nábojem). Ionizovaný materiál je urychlován směrem k nástrojům se záporným předpětím, které je na ně přiloženo. Po cestě ještě ionizuje s atomy plynné atmosféry (argon). Ionizované atomy po dosažení povrchu nástrojů vytvářejí povlak.

Obloukové odpařování patří v oblasti povlakování rezných nástrojů k nejpoužívanějším metodám. Z důvodu krátké délky povlakovacího procesu, která se pohybuje v rozmezí několika hodin [3, 13].



Obr.3.2 Schéma obloukového napařování [1].

Výhody obloukového odpařování [3]:

- variabilní uspořádání (katoda v libovolné poloze),
- lze odpařovat všechny elektricky vodivé materiály,
- plazmový oblouk efektivně ionizuje odpařovaný materiál a reaktivní plyny,
- před dopadem na substrát mohou být ionty materiálu povlaku urychlovány na vysokou energii,
- nízké zatížení tepelnou radiací (katodická oblouková depozice),
- reaktivní plyny jsou aktivovány plazmou (lepší proces depozice),
- znečištění terče je mnohem menší než u naprašování.

Nevýhody obloukového odpařování [3]:

- je možné odpařovat pouze elektricky vodivé materiály,
- vysoké zatížení tepelnou radiací (anodická oblouková depozice),

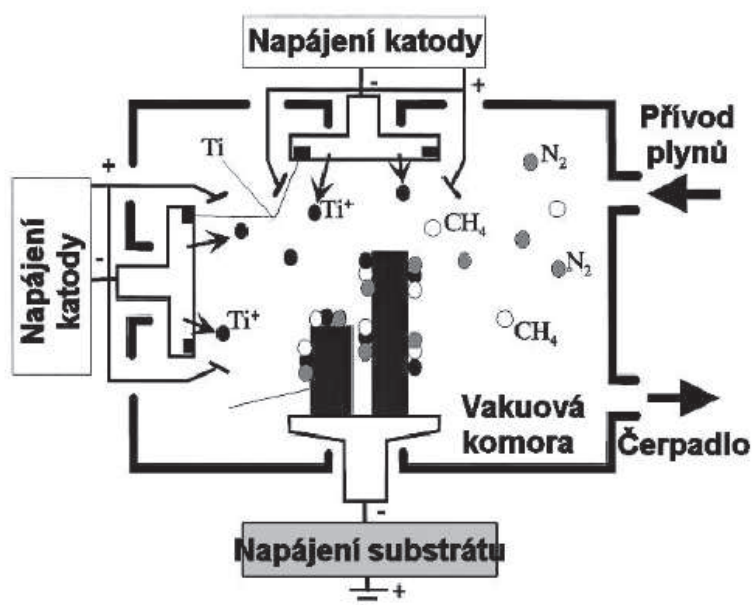
- roztavené kapénky (mikročástice) vyvržené z katody se mohou dostat do povlaku a vytvořit tak na jeho povrchu kuličky (lze zabránit použitím elektromagnetického filtru, který ale snižuje rychlost depozice).

3.1.3 Iontová implantace

U iontové implantace (viz obr. 3.3) je mezi katodou (substrát) a anodou (terč) utvořené silné elektrické pole (až 1000 V), které vytváří elektrický výboj v plynné atmosféře, který ionizuje částice plynu i odpařené částice z terče. Reakcí iontů vzniká povlak, který se usazuje na substrátu. Zdrojem deponovaných složek může být odpařování, odprašování, plyny nebo páry.

Atomy určené látky k vytvoření povlaku jsou z povrchu terče odprašovány pomocí urychlených iontů, jejich energie je dána velikostí záporného elektrického napětí, přiváděným na povlakovaný předmět. Velikost napětí se během procesu mění. Před povlakováním je na substrát přivedeno záporné napětí 1000 V a dochází k iontovému čištění povrchu substrátu. Po očištění a zahájení povlakovacího procesu je záporné napětí sníženo na 50 až 100 V. Dopad iontů během nanášení výrazně ovlivňuje vlastnosti vzniklého povlaku (tvrdost, vnitřní napětí, adhezi k substrátu) a umožňuje vznik sloučenin při podstatně nižších teplotách.

Iontovou implantací lze nanášet povlaky rozmanitého složení s vynikajícími mechanickými vlastnostmi i na tepelně zušlechtnuté materiály, nebo dokonce plasty, z důvodu nízkých teplot substrátu (200 až 400 °C) [3].



Obr. 3.3 Schéma iontové implantace [1].

Výhody iontové implantace [3]:

- přivedení velkého množství energie do povrchu rostoucího povlaku,
- odstranění kontaminované vrstvy na povrchu substrátu bombardováním částicemi s velkou energií,
- přesně definované složení povlaku,

- rovnoměrný průběh procesu a s ním spjatý dokonalý růst vrstvy povlaku;
- pro zlepšení vlastností povlaku lze použít řízené bombardování,
- vlastnosti povlaku jsou méně závislé na úhlu dopadu toku deponovaného materiálu,
- vynikající adheze povlaku k podkladu,
- vysoká hustota povlaku,
- široký rozsah podkladových a povlakových materiálů.

Nevýhody iontové implantace [3]:

- je třeba řídit mnoho procesních parametrů,
- je často velmi těžké docílit rovnoměrného bombardování celé plochy substrátu,
- může dojít k nadměrnému ohřevu substrátu,
- bombardující plyny mohou zůstat zachyceny v rostoucím povlaku,
- v povlaku může dojít k vytvoření nadměrného tlakového zbytkového napětí.

3.2 Metoda CVD

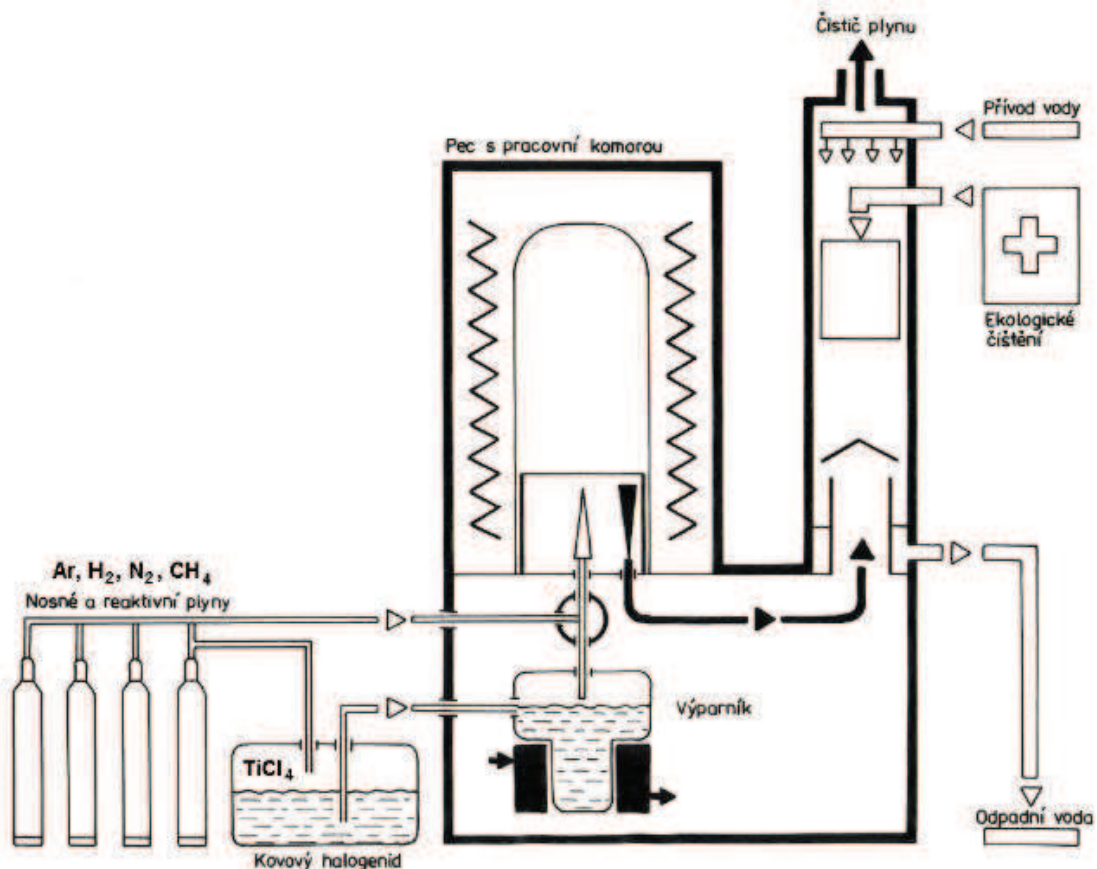
Metoda CVD (viz obr. 3.4) je chemický proces povlakování, která je založena na reakci plynných chemických sloučenin v plazmě, která se vytváří v bezprostřední blízkosti povrchu slinutého karbidu. Reakční složky jsou přiváděny v plynné fázi, za vysokých teplot se rozkládají a vzniká vrstva na povrchu substrátu pomocí heterogenní reakce. Základním požadavkem ale je, aby výchozí plyny obsahovaly stabilní, ale přitom prchavou sloučeninu, která je v důsledku přivedené energie (ohřevem, plazmovým obloukem, laserem) chemicky rozkládána. Produkty tohoto rozkladu jsou pak ukládány na ohřátý povrch povlakovaného předmětu a působí jako katalyzátor. Aby proběhlo vytvoření povlaku, musí být v plynech obsažen i nekovový reaktivní plyn (N_2 , NH_4 , CH_4).

V přiváděném plynu je velkým procentem zastoupen nosný plyn (Ar , H_2), který dopravuje směs plynů k povlakovanému předmětu. Nosný plyn umožňuje řízení celého procesu a značně ovlivňuje rychlost růstu povlaku, také hraje důležitou roli při redukci oxidů na povrchu substrátu a tím ovlivňuje vznik povlaku s dobrou adhezí k substrátu. V některých případech se účastní chemické reakce, tím brání nežádoucím sekundárním reakcím plynové náplně [2].

Povlakovací proces probíhá za vysokých teplot (750 až 1050 °C). CVD proces je ekonomicky vhodný pro tvorbu silných vrstev a pro povlakování nepřístupných dutin a drážek, lze také připravit velmi rozmanité vrstvy kovů, polovodičů a různých chemických sloučenin, jež jsou vysoce čisté a mají požadované vlastnosti. Použití této metody je ale značně omezeno vysokou teplotou, např. u nástrojů z rychlořezné oceli nelze tuto metodu použít, protože by došlo k tepelné degradaci základního materiálu, proto se používá především k povlakování nástrojů z SK [2, 10].

V procesech CVD metody jsou nejčastěji používány dva typy reaktorů, reaktor s horkou stěnou a reaktor se studenou stěnou. Nádoba u reaktoru s horkou stěnou je obklopena vyhřívacími prvky, které udržují substrát a stěnu reaktoru na stejné teplotě. Nevýhodou tohoto reaktoru je usazování povlaku na stěny reaktoru a možná kontaminace povlaku substrátu chemickou reakcí mezi stěnou reaktoru a paramy, z důvodu vysoké teploty stěny reaktoru. Proto se tento typ reaktoru používá v případech, kdy jsou probíhající reakce exotermické (reakce vytvářející teplo), vysoká teplota stěny zamezuje nežádoucímu usazování povlaku. U reaktoru se studenou stěnou je ohříván pouze držák substrátu. Tento typ reaktoru se používá v případech, kdy probíhají reakce endotermické (reakce spotřebo-

vávající teplo). Substrát má vyšší teplotu než stěna reaktoru, reakce přednostně probíhají na substrátu a nedochází ke kontaminaci povlaku v důsledku reakcí mezi stěnou reaktoru a parami. Stěna reaktoru je chlazena vodou [3].



Obr. 3.4 Princip povlakovacího zařízení pro metodu CVD [1].

V současné době se stále více používají různé modifikované metody CVD:

HFCVD (Hot Filament CVD) – tato metoda využívá žhavicí wolframové vlákno, ohřáté na teplotu až 2 400 °C, které je umístěno 80 mm od substrátu. Rychlost depozice povlaků je vyšší než u klasické metody CVD. Tato metoda je používána pro vytváření diamantových povlaků.

LICVD (Laser Induced CVD) – laserem indukovaná metoda. Tato metoda existuje ve dvou variantách. První varianta je metoda pyrolytická, u které jsou molekuly plynu na mezifázovém rozhraní plyn – substrát štěpeny lokalizovaným ohřevem substrátu, na který dopadá paprsek laseru. Druhá varianta je metoda fotolytická, kde jsou molekuly poblíž substrátu štěpeny fotochemickou reakcí.

PECVD (Plasma Enhanced CVD) – plazmaticky aktivovaná CVD metoda. Je to nejčastěji používaná metoda přípravy vrstev na bázi uhlíku. Tato metoda je založena na zvýšení energie plynné atmosféry v komoře pomocí její ionizace a aktivace v plazmatickém výboji. Chemické reakce, potřebné pro tvorbu povlaku, probíhají při mnohem nižších teplotách než u konvenčních CVD metod.

MWPCVD (Micro Wave Plasma CVD) – mikrovlnná plazmatická CVD metoda. Od klasické CVD metody se liší nízkými pracovními teplotami (běžně 600 °C), její princip se však nemění [3, 10].

Výhody metody CVD [3]:

- vysoká hustota povlaku,
- vysoká teplotní stabilita povlaku,
- vysoká homogenita povlaku,
- vynikající adheze, rovnoměrná tloušťka u tvarově složitých nástrojů,
- možnost vytvářet poměrně složité vrstvy,
- ekonomická výhodnost tvorby silných vrstev povlaků,
- povlakování nástrojů ze všech stran,
- relativně nízké pořizovací i provozní náklady, slučitelnost s ostatními výrobními postupy.

Nevýhody metody CVD [3]:

- vysoké pracovní teploty (mohou mít nepříznivý vliv na povlak i na povlakovaný předmět),
- nelze vytvářet některé typy povlaků, např. kombinaci různých typů kovů – TiAlN,
- není možné povlakovat ostré hrany,
- energetická náročnost,
- dlouhý pracovní cyklus (8÷10 hodin),
- pracovní plynné směsi jsou ekologicky nevyhovující,
- tahová napětí ve vrstvě.

4 PŘÍKLADY NÁSTROJŮ OD SVĚTOVÝCH VÝROBCŮ

V této kapitole jsou uvedeny příklady nástrojů od firem Pramet Tools, Sandvik – Coromant a Seco Tools. Ze slinutých karbidů se nejčastěji vyrábějí vyměnitelné břitové destičky, ale i monolitní nástroje. Příklady nástrojů vyráběných ze slinutých karbidů jsou zobrazeny na obr. 4.1, obr. 4.2, obr. 4.3.



Obr. 4.1 Vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu [16].



Obr. 4.2 Monolitní čelní válcová fréza ze slinutého karbidu [17].



Obr. 4.3 Vrták s výměnnou vrtací hlaví ze slinutého karbidu [18].

Tato kapitola je zaměřena na řezné materiály určené pro soustružení, a proto jsou níže uvedené materiály všech firem určeny pro tuto technologii.

4.1 Pramet Tools

Česká firma Pramet Tools vyrábí řezné materiály ze slinutých karbidů již více než šedesát let. Firma má sídlo v Šumperku, ale mají dceřiné společnosti i v devíti jiných zemích, včetně zámoří. Pramet vyrábí SK pro všechny skupiny obráběných materiálů.

HF7 – submikronový materiál bez kubických karbidů s nízkým obsahem kobaltu, vhodný pro všechny skupiny obráběných materiálů kromě skupiny P. Používá se pro malé až střední průřezy třísek.

6630 – nejuniverzálnější povlakovaný materiál řady 6000 s funkčně gradientním substrátem. Střední povlak s nosnou vrstvou TiCN je nanesený metodou MTCVD. Materiál je vhodný pro dokončovací i hrubovací soustružení, střední a podmíněně vyšší řezné rychlosti, nepřerušovaný i přerušovaný řez.

T8030 – submikronový substrát s relativně vysokým obsahem kobaltu a s monovrstveným povlakem vytvořeným metodou PVD. Při vysoké tvrdosti je sníženo vnitřní pnutí v povlaku, vysoce univerzální materiál, dobrá provozní spolehlivost. Materiál je vhodný pro obrábění M, P, K skupin obráběných materiálů, zejména pro VBD k soustružení závitů.

T5305 – jemnozrný substrát s nízkým obsahem kobaltu s povlakem vytvořeným metodou povlakování MTCVD. Určeno pro obrábění M, P, K skupin obráběných materiálů. Dobrý výkon při obrábění šedé litiny, vysoké řezné rychlosti, vhodný pro kontinuální a mírně přerušovaný řez.

T8315 – submikronový substrát s relativně nízkým obsahem kobaltu s nanovrstveným povlakem vytvořeným metodou PVD. Materiál má vysokou otěruvzdornost a zaručenou houževnatost, lze obrábět vyššími řeznými rychlostmi při středním průřezu třísky [14].

4.2 Sandvik – Coromant

Sandvik – Coromant je Švédská firma založena roku 1942. Jedná se o předního dodavatele nástrojů a nástrojových materiálů pro soustružení, vrtání a frézování. Společnost Sandvik – Coromant má své zastoupení ve 130 zemích světa.

GC3005 – karbid s CVD povlakem s vysokou odolností proti otěru a velmi dobrou přilnavostí k substrátu, snáší vysoké teploty. Karbid vhodný pro dokončování vysoce legovaných ocelí s využitím vysokých řezných rychlostí.

GC2015 – karbid s CVD povlakem vhodný pro dokončování až lehké hrubování korozivzdorných ocelí. Tato třída je vhodná pro spojitý řez při středních až vysokých řezných rychlostech z důvodu substrátu umožňující práci za vysokých teplot v kombinaci s povlakem s vysokou odolností proti opotřebení.

H13A – nepovlakovaný slinutý karbid. Kombinace dobré odolnosti proti otěru s houževnatostí. Vhodný pro střední až těžké soustružení slitin hliníku.

GC2035 – karbid s PVD povlakem, vhodný pro polodokončování až hrubování austenitických a duplexních korozivzdorných ocelí při malých až středních řezných rychlostech. Má vysokou odolnost proti tepelným rázům, díky tomu je vhodný pro aplikace s rychle přerušovaným řezem.

GC3205 – karbid s CVD povlakem. Substrát je velmi tvrdý a povlak je hladký a odolný proti opotřebení. Používá se pro vysokorychlostní obrábění šedé litiny [15].

4.3 Seco Tools

Společnost Seco Tools patří mezi jedny z největších světových dodavatelů nástrojů pro obrábění. Firma Seco Tools byla založena roku 1929 a má zastoupení ve více jak 50 zemích světa.

TP1500 – materiál určen hlavně k soustružení ocelí a legovaných ocelí. Vyšší odolnost vůči otěru umožňuje použití vyšších rychlostí.

TP2500 – materiál vhodný pro široký okruh aplikací při soustružení ocelí a nerezových ocelí, též je vhodný pro soustružení litin. Má dobrou odolnost proti opotřebení a pevnost, to z něho dělá dobrou volbu pro velkou oblast použití.

TM4000 – materiál je díky kombinaci odolnosti vůči otěru a vynikající pevnosti břitů vhodný pro obrábění nerezových ocelí.

TK1001 – otěruvzdorný materiál vhodný pro obrábění šedé a tvárné litiny. Také alternativa při obrábění za sucha a soustružení kalených ocelí.

TK2001 – materiál vhodný pro obrábění šedé a tvárné litiny. Houževnatý při obrábění nestabilními podmínkami a přerušovaném řezu. Mohou být použity pro obrábění tvrdších abrazivních materiálů.

890 – jemnozrný nepovlakovaný karbid s velmi vysokou tvrdostí a dobrou houževnatostí. Je určen pro obrábění těžkoobrobitelných a titanových slitin. Je též vhodná pro kalené oceli, litinu a neželezné slitiny, jako Al a Cu [16].

5 ŘEZNÉ PODMÍNKY NÁSTROJŮ

Řezné podmínky jednotlivých nástrojů vyrobených ze slinutých karbidů jsou dány výrobcem, tyto podmínky uvádějí ve svých katalozích pro obrábění všech skupin materiálů. Z katalogů firem Pramet Tools, Sandvik – Coromant a Seco Tools jsou vybrány materiály pro obrábění skupin P, M a K technologií soustružení. Řezné podmínky pro tyto materiály jsou uvedeny v tab. 5.1, tab. 5.2, tab. 5.3, tab. 5.4, tab. 5.5, tab. 5.6, tab. 5.7, tab. 5.8 a tab. 5.9.

5.1 Pramet Tools

Tab. 5.1 Doporučené řezné podmínky pro skupinu P [14].

Skupina	P			
Výrobce	Pramet Tools			
Materiál	Typ soustružení	Řezné podmínky		
		f_n [mm]	a_p [mm]	v_c [m.min ⁻¹]
6630	Dokončovací	0,1 - 0,2	0,8 - 2,0	335 - 280 - 250
	Polohrubovací	0,2 - 0,4	1,5 - 4,0	235 - 195 - 175
	Hrubovací	0,4 - 0,8	4,0 - 10,0	160 - 135 - 120
T8315	Dokončovací	0,1 - 0,2	0,8 - 2,0	295 - 260 - 240
	Polohrubovací	0,2 - 0,4	1,5 - 4,0	225 - 200 - 185
	Hrubovací	0,4 - 0,8	4,0 - 10,0	170 - 150 - 135

Tab. 5.2 Doporučené řezné podmínky pro skupinu M [14].

Skupina	M			
Výrobce	Pramet Tools			
Materiál	Typ soustružení	Řezné podmínky		
		f_n [mm]	a_p [mm]	v_c [m.min ⁻¹]
6630	Dokončovací	0,1 - 0,2	0,8 - 2,0	200 - 165 - 150
	Polohrubovací	0,2 - 0,4	1,5 - 4,0	140 - 115 - 105
	Hrubovací	0,4 - 0,8	4,0 - 10,0	95 - 80 - 70
T8315	Dokončovací	0,1 - 0,2	0,8 - 2,0	175 - 155 - 145
	Polohrubovací	0,2 - 0,4	1,5 - 4,0	135 - 120 - 110
	Hrubovací	0,4 - 0,8	4,0 - 10,0	100 - 90 - 80

Tab. 5.3 Doporučené řezné podmínky pro skupinu K [14].

Skupina	K			
Výrobce	Pramet Tools			
Materiál	Typ soustružení	Řezné podmínky		
		f_n [mm]	a_p [mm]	v_c [m.min ⁻¹]
6630	Dokončovací	0,1 - 0,2	0,8 - 2,0	320 - 265 - 235
	Polohrubovací	0,2 - 0,4	1,5 - 4,0	225 - 185 - 165
	Hrubovací	0,4 - 0,8	4,0 - 10,0	155 - 130 - 115
T8315	Dokončovací	0,1 - 0,2	0,8 - 2,0	280 - 250 - 225
	Polohrubovací	0,2 - 0,4	1,5 - 4,0	215 - 190 - 175
	Hrubovací	0,4 - 0,8	4,0 - 10,0	160 - 140 - 130

5.2 Sandvik - Coromant

Tab. 5.4 Doporučené řezné podmínky pro skupinu P [15].

Skupina	P	
Výrobce	Sandvik - Coromant	
Obráběné materiály	Nástrojové materiály	
	GC3005	GC2015
	Posuv f_n [mm]	
	0,1 - 0,3 - 0,5	0,1 - 0,4 - 0,8
	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	
Nelegovaná ocel		
C = 0,1 - 0,25 %	520 - 415 - 340	440 - 300 - 210
C = 0,25 - 0,55 %	470 - 370 - 305	400 - 270 - 190
C = 0,55 - 0,80 %	445 - 355 - 290	370 - 250 - 175
Nízkolegovaná ocel (legury 5 %)		
Nezušlechtěná	500 - 375 - 300	395 - 265 - 190
Ocel pro výrobu kuličkových ložisek	-	350 - 230 - 160
Kalená a popuštěná ocel	275 - 215 - 175	260 - 180 - 140
Kalená a popuštěná ocel	225 - 170 - 140	210 - 145 - 115
Vysokolegovaná ocel (legury 5 %)		
Žíhaná	370 - 275 - 225	260 - 180 - 130
Zušlechtěná nástrojová ocel	180 - 130 - 105	115 - 85 - 65
Ocel na odlitky		
Nelegovaná	275 - 220 - 185	210 - 155 - 110
Nízkolegovaná (legury 5 %)	270 - 200 - 170	180 - 120 - 85
Vysokolegovaná (legury 5 %)	205 - 155 - 130	160 - 110 - 75

Tab. 5.5 Doporučené řezné podmínky pro skupinu M [15].

Skupina	M	
Výrobce	Sandvik - Coromant	
Obráběné materiály	Nástrojové materiály	
	GC2015	GC2035
	Posuv f_n [mm]	
	0,2 - 0,4 - 0,6	0,2 - 0,4 - 0,6
	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	
Feritická/Martenzitická Válcované polotovary a výkovky Nezušlechtěná Precipitačně vytvrzená Zušlechtěná	260 - 220 - 200 125 - 100 - 80 145 - 120 - 85	180 - 160 - 130 85 - 65 - 45 95 - 70 - 50
Austenitická Válcované polotovary a výkovky Austenitická Precipitačně vytvrzená Superaustenitická	290 - 240 - 190 130 - 110 - 80 160 - 135 - 100	170 - 145 - 115 85 - 65 - 45 100 - 90 - 70
Austeniticko - feritická (Duplexní) Válcované polotovary a výkovky Nesvařitelná 0,05 %C Svařitelná 0,05 %C	220 - 185 - 145 190 - 150 - 120	160 - 135 - 105 130 - 110 - 85
Feritická/Martenzitická Odlévaná Nezušlechtěná Precipitačně vytvrzená Zušlechtěná	250 - 210 - 170 100 - 70 - 55 110 - 90 - 60	170 - 145 - 115 70 - 50 - 40 75 - 60 - 50
Austenitická Odlévaná Austenitická Precipitačně vytvrzená Superaustenitická	220 - 180 - 140 105 - 80 - 60 145 - 115 - 95	150 - 120 - 95 70 - 50 - 40 100 - 80 - 60
Austeniticko - feritická (Duplexní) Odlévaná Nesvařitelná 0,05 %C Svařitelná 0,05 %C	185 - 150 - 135 160 - 140 - 105	130 - 110 - 85 105 - 95 - 75

Tab. 5.6 Doporučené řezné podmínky pro skupinu K [15].

Skupina	K	
Výrobce	Sandvik - Coromant	
Obráběné materiály	Nástrojové materiály	
	GC3005	GC3205
	Posuv f_n [mm]	
	0,2 - 0,4 - 0,6	0,2 - 0,4 - 0,6
	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	
Temperovaná litina		
Feritická (tvořící dlouhou třísku)	250 - 210 - 185	460 - 380 - 325
Perlitická (tvořící krátkou třísku)	235 - 190 - 150	375 - 310 - 265
Šedá litina		
Nízká pevnost v tahu	275 - 245 - 225	530 - 435 - 375
Vysoká pevnost v tahu	260 - 225 - 200	425 - 350 - 300
Tvárná litina, SG litina		
Feritická	265 - 215 - 180	390 - 330 - 275
Perlitická	240 - 195 - 160	350 - 300 - 250
Martenzitická	185 - 140 - 110	265 - 225 - 190

5.3 Seco Tools

Tab. 5.7 Doporučené řezné podmínky pro skupinu P [16].

Skupina	P	
Výrobce	Seco Tools	
Označení	Nástrojové materiály	
	TP2500	TP1500
	Posuv f_n [mm]	
	0,25 - 0,3 - 0,4	0,25 - 0,3 - 0,4
	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	
2	515 - 460 - 380	645 - 600 - 520
3	425 - 380 - 315	535 - 495 - 430
4	365 - 325 - 270	445 - 420 - 370

Tab. 5.8 Doporučené řezné podmínky pro skupinu M [16].

Skupina	M	
Výrobce	Seco Tools	
Označení	Nástrojové materiály	
	TP2500	TM4000
	Posuv f_n [mm]	
	0,2 - 0,3 - 0,4	0,2 - 0,3 - 0,4
	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	
8	410 - 335 - 265	275 - 225 - 185
9	320 - 265 - 210	215 - 175 - 145
10	265 - 215 - 170	175 - 145 - 120

Tab. 5.9 Doporučené řezné podmínky pro skupinu K [16].

Skupina	K	
Výrobce	Seco Tools	
Označení	Nástrojové materiály	
	TK1001	TK2001
	Posuv f_n [mm]	
	0,2 - 0,4 - 0,6	0,2 - 0,4 - 0,6
	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	
12	390 - 340 - 315	390 - 340 - 315
13	340 - 300 - 275	340 - 300 - 275
14	290 - 255 - 235	290 - 255 - 235

5.4 Porovnání

V tab. 5.10, tab. 5.11 a tab. 5.12, jsou vybrány slinuté karbidy od výrobců Pramet, Sandvik – Coromant a Seco a jsou v této kapitole vzájemně porovnány. Vybrané SK jsou určeny pro obrábění skupin P, K a M pro aplikaci soustružení. V tabulkách jsou uvedeny rozsahy hodnot řezných podmínek, tyto hodnoty jsou stanoveny podle katalogů výrobců. Každá firma ve svém katalogu jinak řeší doporučené řezné podmínky pro své nástroje, a každá firma svoje nástroje vyrábí jinou technologií, proto je vzájemné porovnání velmi obtížné.

Pro porovnání řezných podmínek byly vybrány tato materiály:

- Pramet Tools – pro skupinu P a M byl vybrán materiál 6630 a pro skupinu K byl vybrán materiál T8315
- Sandvik - Coromant – pro skupinu P a M byl vybrán materiál GC2015 a pro skupinu K byl vybrán materiál GC3005
- Seco Tools – pro skupinu P a M byl vybrán materiál TP2500 a pro skupinu K byl vybrán materiál TK2001

Tab. 5.10 Porovnání řezných podmínek pro skupinu P [14, 15, 16].

Skupina		P		
Výrobci	Materiál	Řezné podmínky		
		f_n [mm]	a_p [mm]	v_c [m.min ⁻¹]
Pramet	6630	0,1 – 0,8	0,8 - 10,0	120 - 335
Sandvik - Coromant	GC2015	0,1 – 0,8	0,5 – 6,0	65 - 440
Seco	TP2500	0,1 – 0,8	1,0 – 6,0	105 - 515

Tab. 5.11 Porovnání řezných podmínek pro skupinu M [14, 15, 16].

Skupina		M		
Výrobci	Materiál	Řezné podmínky		
		f_n [mm]	a_p [mm]	v_c [m.min ⁻¹]
Pramet	6630	0,1 – 0,8	0,8 – 10,0	70 - 200
Sandvik - Coromant	GC2015	0,2 – 0,6	0,5 – 6,0	60 - 290
Seco	TP2500	0,1 – 0,6	1,0 -5,0	60 - 410

Tab. 5.12 Porovnání řezných podmínek pro skupinu K [14, 15, 16].

Skupina		K		
Výrobci	Materiál	Řezné podmínky		
		f_n [mm]	a_p [mm]	v_c [m.min ⁻¹]
Pramet	T8315	0,1 – 0,8	0,8 – 10,0	130 - 280
Sandvik - Coromant	GC3005	0,2 – 0,6	0,2 – 6,0	110 - 275
Seco	TK2001	0,2 – 0,6	3	195 - 390

V katalogu každého výrobce jsou uvedeny doporučené řezné podmínky, které je možno pro konkrétní situace nastavovat. Řezné podmínky závisejí na obráběném materiálu (nelegovaná, legovaná ocel) a na druhu operace (dokončování, polohrubování, hrubování). Pokud se zvýší řezné podmínky nad doporučené řezné podmínky od výrobce, dojde ke snížení trvanlivosti nástroje.

Ze všech třech tabulek vyplývá, že nástroje od firmy Seco Tools dosahují nejvyšších řezných rychlostí, ale na druhou stranu dosahují nejmenší šířky záběru ostří ze všech výrobců. Hodnoty relativně odpovídají řezným podmínkám, které jsou obecně doporučované podle obsahu kobaltu. S rostoucím obsahem pojiva totiž klesá řezná rychlost a roste rychlost posuvu a průřez odebírané třísky.

6 DISKUZE

Tato bakalářská práce je zaměřena na nejpoužívanější nástrojový materiál a to na slinuté karbidy. Zabývá se základním rozdělením slinutých karbidů podle normy ISO 513, jejich výrobou a metodami povlakování. Slinuté karbidy se vyznačují hlavně svojí tvrdostí a odolností při obrábění vyššími pracovními rychlostmi, kdy je možné použít vyšší řezné i posuvové rychlosti, než při obrábění, kde je použito nástrojů z rychlořezné oceli.

Slinuté karbidy mohou být buď nepovlakované nebo povlakované, v dnešní době se více používají karbidy povlakované. Vlastnosti povlakovaných slinutých karbidů závisí na vlastnostech podkladového materiálu, typu povlaku a na metodě jeho depozice. Povlaky mohou být vytvořeny dvěma rozdílnými metodami a to metodou PVD nebo metodou CVD. Povlak může být vytvořen jak jednou vrstvou, tak i více vrstvami, které jsou určeny pro náročnější obráběcí operace. Pro dosažení lepší řezivosti a delší trvanlivosti nástroje může být použita kombinace obou těchto metod.

Výrobou slinutých karbidů se zabývá mnoho výrobců. Pro srovnání nástrojů a jejich řezných parametrů byly vybrány dvě zahraniční firmy Sandvik – Coromant a Seco Tools a jedna česká společnost Pramet Tools, která je největším českým výrobcem nástrojů pro obrábění. Ve srovnání jsou použity materiály jednotlivých firem, které jsou vypsány z nejnovějších katalogů všech výrobců. Tyto materiály jsou určeny pro obrábění skupin P, M a K metodou soustružení. Pro každou tuto metodu byly vytvořeny tabulky s doporučenými řeznými parametry s následujícím porovnáním mezi jednotlivými společnostmi.

Ze všech třech tabulek porovnání vyplývá, že nástroje od firmy Seco Tools dosahují nejvyšších řezných rychlostí. Česká společnost Pramet Tools ale nijak nezaostává, sice nedoporučuje nejvyšší řezné rychlosti, ale zato dosahuje největší šířky záběru ostří. Tyto hodnoty relativně odpovídají řezným podmínkám, které jsou obecně doporučované podle obsahu kobaltu. S rostoucím obsahem pojiva totiž klesá řezná rychlost a roste rychlost posuvu a průřez odebírané třísky.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá řeznými nástroji vyrobenými ze slinutých karbidů, jejich značením, výrobou a povlakováním. Slinuté karbidy jsou řezné materiály, které obsahují tvrdé částice vázané kovovým pojivem. Většina slinutých karbidů je pro zlepšení jejich vlastností opatřena povlaky, které jsou zhotoveny metodou PVD nebo CVD.

Shrnutí dosažených poznatků:

- slinuté karbidy jsou vyráběné práškovou metalurgií,
- dobré funkční vlastnosti slinutých karbidů jsou dány obsahem tvrdých karbidických částic,
- se zvyšujícím obsahem pojícího kovu roste houževnatost a pevnost v ohybu, klesá tvrdost a otěruvzdornost, z hlediska doporučených řezných podmínek klesá řezná rychlost, roste rychlost posuvu a průřez odebírané třísky,
- pro zlepšení řezných parametrů se slinuté karbidy povlakuji,
- metoda PVD se provádí za teplot menších než 500 °C a tloušťka nanášené vrstvy činí 1 až 5 μm, trendem je vytváření multivrstevných povlaků,
- metoda CVD se provádí za vysokých teplot (1 000 ÷ 1 200 °C), trendem je snižování pracovních teplot, což rozšiřuje oblast použití i u materiálů, u kterých by docházelo vlivem vysokých teplot k nežádoucímu ovlivnění struktury,
- pro dosažení lepší řezivosti a delší trvanlivosti nástroje může být použita kombinace obou depozičních metod,
- srovnání řezných parametrů mezi společnostmi Pramet Tools, Sandvik – Coromant a Seco Tools ukázalo, že nástroje od firmy Seco Tools dosahují nejvyšších řezných rychlostí, česká společnost Pramet Tools nedosahuje takových řezných rychlostí, zato dosahuje největší šířky záběru ostří.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část* [online]. Studijní opory. VUT – FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2003 [vid. 2014-04-21]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [2] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje* [online]. Studijní opory. VUT – FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006 [vid. 2014-04-15]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf
- [3] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. 1. vyd. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [4] HUMÁR, Anton. *Slinuté katbidy a řezná keramika pro obrábění*. 1. vyd. Brno: CCB, s.r.o., 1995. 265s. ISBN 80-85825-10-4.
- [5] ČEP, Robert. *Výkonné řezné materiály*. MM Průmyslová spektrum [online]. 2003 [vid. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vykonne-rezne-materialy.html>
- [6] SANDVIK COROMANT. *Skupiny obráběných materiálů* [online]. 2014 [vid. 2014-04-26]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/workpiece_material_groups/pages/default.aspx
- [7] ZAPLETAL, Zdeněk. *Prášková metalurgie a její využití*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2002 [vid. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/praskova-metalurgie-a-jeji-vyuziti.html>
- [8] KŘÍŽ, Antonín. *Prášková metalurgie* [online]. Západočeská univerzita v Plzni, Ateam - materiálový výzkum. 2005 [vid. 2014-05-01]. Dostupné z: http://www.ateam.ic.cz/praskova_metalurgie.pdf
- [9] *Průručka obrábění, kniha pro praktiky*. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
- [10] KŘÍŽ, Antonín. *Tenké vrstvy* [online]. Západočeská univerzita v Plzni, Ateam – materiálový výzkum. 2006 [vid. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/tenke_vrstvy_sma.pdf
- [11] LIBRA, Martin. *Naprašování tenkých vrstev* [online]. 2003, č.2 [vid. 2014-05-09]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25484
- [12] CHEMPOINT. *Magnetronové naprašování* [online]. 2012 [vid. 2014-05-09]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/magnetronove-naprasovani>
- [13] ZINDULKA, Ondřej. *Moderní metody povlakování nástrojů* [online]. 2004 [vid. 2014-05-10]. Dostupné z: http://www.shm-cz.cz/wp-content/uploads/2013/03/2004_10.pdf
- [14] PRAMET TOOLS, s.r.o. Šumperk, ČR. *Soustružení 2014* [online]. 2014 [vid. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/cz/ke-stazeni.html>

- [15] AB SANDVIK COROMANT. Main catalogue 2014: *Všeobecné soustružení* [online]. 2014 [vid. 2014-05-13]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/cs-cz/turning/turn_a.pdf
- [16] SECO TOOLS. *Soustružení 2012* [online]. 2014 [vid. 2014-05-13]. Dostupné z: https://www.secotools.com/CorpWeb/Downloads/seconews2_2011/MN/turning/Turning%202012_CZ_LR.pdf
- [17] NOVÁK, Zdeněk. *Nové řezné nástroje do výroby*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2006 [vid. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-rezne-nastroje-do-vyroby.html>
- [18] BENÝR, Pavel. *Vysoce výkonné vrtáky*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2009 [vid. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vysoce-vykonne-vrtaky.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CVD	[-]	Chemical vapour deposition
HB	[-]	Tvrdost podle Brinella
HFCVD	[-]	Hot filament chemical vapour deposition
HRA	[-]	Tvrdost podle Rockwella
HRC	[-]	Tvrdost podle Rockwella
HV	[-]	Tvrdost podle Vickerse
LICVD	[-]	Laser induced chemical vapour deposition
MTCVD	[-]	Medium temperature chemical vapour deposition
MWPCVD	[-]	Micro wave plasma chemical vapour deposition
NO	[-]	Nástrojová ocel
PECVD	[-]	Plasma enhanced chemical vapour deposition
PKD	[-]	Polykrystalický diamant
PKND	[-]	Polykrystalický kubický nitrid bóru
PVD	[-]	Physical vapour deposition
ŘK	[-]	Řezná keramika
SK	[-]	Slinutý karbid
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
J	[mA.cm ⁻²]	Proudová hustota iontů
R	[Å.min ⁻¹]	Rychlost eroze terče
S	[atomy/iont]	Výtěžnost naprašování
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
f_n	[mm]	Posuv na otáčku
m_t	[g]	Atomová hmotnost
v_c	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost
ρ	[g.cm ⁻³]	Měrná hmotnost materiálu terče

